

유동구조연성해석을 통한 컨테이너 크레인의 경보시스템용 기준 데이터 도출[§]

한동섭* · 한근조*[†] · 광기석*

* 동아대학교 기계공학과

Deriving Reference Data for Alarm System in a Container Crane by Fluid-Structure Interaction Analysis

Dong Seop Han*, Geun Jo Han*[†] and Ki Suk Kwak*

* Dept. of Mechanical Engineering, Dong-A Univ.

(Received March 11, 2010 ; Revised June 14, 2010 ; Accepted June 16, 2010)

Key Words : FSI Analysis(유동구조연성해석), Wind Tunnel Test(풍동실험), Container Crane(컨테이너 크레인), Alarm System(경보시스템), Uplift Force(부상력)

초록: 본 연구는 풍하중 하에서 컨테이너 크레인의 전도사고 예방을 위한 경보시스템용 기준데이터를 도출하기 위하여 수행되었다. 분석방법으로 유동구조연성해석과 풍동실험이 사용되었으며, 크레인의 안정성에 대한 풍하중의 영향을 평가하기 위하여 컨테이너 터미널에서 널리 사용되고 있는 50톤급 컨테이너 크레인이 해석모델로 선정되고, 19 가지 풍향이 설계변수로 채택되었다. 연구방법은 먼저 경계층풍동을 사용하여 풍향에 따른 컨테이너 크레인 모형에 대한 풍동실험을 수행한 후, ANSYS 와 CFX 를 사용하여 실제 크레인의 유동구조연성해석을 수행하였다. 다음으로 유동구조연성해석을 통해 산출된 부상력과 풍동실험을 통해 도출된 부상력을 비교하여 두 방법에 있어서 차이를 보정하기 위한 식을 제시하였다.

Abstract: This study was conducted to provide reference data for designing an alarm system that can help prevent the overturning of a container crane under wind load. Two methods, namely, fluid-structure interaction (FSI) analysis and wind-tunnel test, were adopted in this investigation. To evaluate the effect of wind load on the stability of the crane, a 50-ton-class container crane that is widely used in container terminals was adopted as the analysis model and 19 values were considered as design parameters for wind direction. First, the wind-tunnel test for the reduced-scale container crane model was performed according to the wind direction by using an Eiffel type atmospheric boundary-layer wind tunnel. Next, the FSI analysis for the real-scale container crane was conducted using ANSYS and CFX. Then, the uplift force determined from the FSI analysis was compared with that determined from the wind-tunnel test. Finally, a formula to compensate for the difference between the results of the FSI analysis and the wind-tunnel test was proposed.

1. 서 론

컨테이너를 선박에 양/적하 하는 장비인 컨테이너 크레인은 일반적으로 차폐물이 거의 없는 항만에 설치되어 사용되고 있으며, 자체 높이가 현재 항만에서 주로 사용되고 있는 50ton 급 컨테이너 크레인의 경우 계류 시 최대 100m 에 달하게 되므로 바람에 매우 큰 영향을 받게 된다.⁽¹⁾ 이와 같은

풍하중의 영향을 최소화시키기 위하여 컨테이너 크레인에는 타이다운(tie-down)과 스토이지 핀(stowage pin)과 같은 계류장치를 설치하여 강풍으로 인하여 작업이 중지될 경우(휴지 시) 컨테이너 크레인을 지정된 위치에 고정시켜 전도와 이탈을 방지하고 있다.⁽²⁾ 그러나 태풍 ‘매미’로 인한 11 대 컨테이너 크레인의 이탈 및 전도사고 발생 이후 크레인의 전도사고 예방을 위한 경보시스템 개발이 제안되었다. 즉, 풍향 및 풍속에 따른 컨테이너 크레인의 각 지점에서 부상력(uplift force)을 산출한 후 기준값과 비교하여 위급 시 중앙 운전실에 경보를 알려주는 장치이다. 이러한 장치를 개발하

[§] 이 논문은 2010 년도 대한기계학회 CAE 및 응용역학부문 춘계학술대회(2010. 3. 4.-5., 서울대) 발표논문임.

[†] Corresponding Author, gjhan@dau.ac.kr

© 2010 The Korean Society of Mechanical Engineers

기 위해서는 크게 풍향 및 풍속과 같은 기상정보와 계류장치에 발생하는 부상력을 동시에 검출할 수 있는 통합모니터링 시스템이 개발되어야 하고, 획득된 데이터를 비교하여 경보를 알릴 수 있는 기준 데이터 확보 및 알고리즘개발이 요구된다. 본 연구에서는 이 중 경보시스템용 기준 데이터를 확보하기 위한 방안에 대하여 제시하고자 한다.

돌풍으로 인한 컨테이너 크레인의 전도사고 예방을 위한 경보시스템용 기준 데이터를 확보하기 위해서는 풍하중에 따른 크레인 각 지점의 부상력을 정확하게 산출하는 것이 중요하다. 그런데 이러한 각 지점의 부상력을 정확하게 도출하기 위해서는 풍동실험을 수행하여야 하나 일반적으로 제작될 모든 컨테이너 크레인에 대하여 풍동실험을 수행한다는 것은 경제적인 면에서나 실용적인 면에서 사실상 불가능하므로 시뮬레이션을 통한 내풍 설계를 수행해야 한다. Lee 등^(3,4)은 유한요소해석을 이용하여 컨테이너 크레인의 구조적 안정성을 분석하였으며, 축소모형에 대한 풍력실험을 실시하여 그 결과를 발표하였다. 그러나 기존의 내풍 설계 방법은 단순한 보요소를 사용하여 컨테이너 크레인을 구성하고 작용되는 풍하중을 설계기준을 참고로 수식적으로 계산하여 적용하게 됨으로써 유동과 구조적인 문제가 복합적으로 발생하는 경우에는 해석결과의 정확성과 신뢰성이 떨어지게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 유동-구조연성해석(FSI : Fluid-Structure Interaction)이라는 새로운 해석기법이 최근에 제시되었다.⁽⁵⁾ Han 등⁽⁶⁾은 유동-구조연성해석이 단순 구조해석보다 실제 값에 더 가깝지만 절대값에 있어서는 실제보다 작게 발생한다는 결과를 발표하였다.

따라서 본 연구에서는 이러한 차이를 보정하고 정확한 값을 도출하기 위하여 축소모형을 이용한 풍력실험과 시뮬레이션을 통한 유동-구조 연성해석을 수행하여 컨테이너 크레인 각 지점의 부상력을 비교, 분석하고 크레인의 전도사고 예방을 위한 경보시스템용 기준데이터를 제시한다.

2. 모델 및 설계변수

2.1 대상 모델

본 연구에서는 풍하중이 컨테이너 크레인 각 지점의 부상력에 미치는 영향을 평가하기 위하여 항만에서 널리 사용되고 있는 50ton 급 컨테이너 크레인을 대상으로 선정하였으며, 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

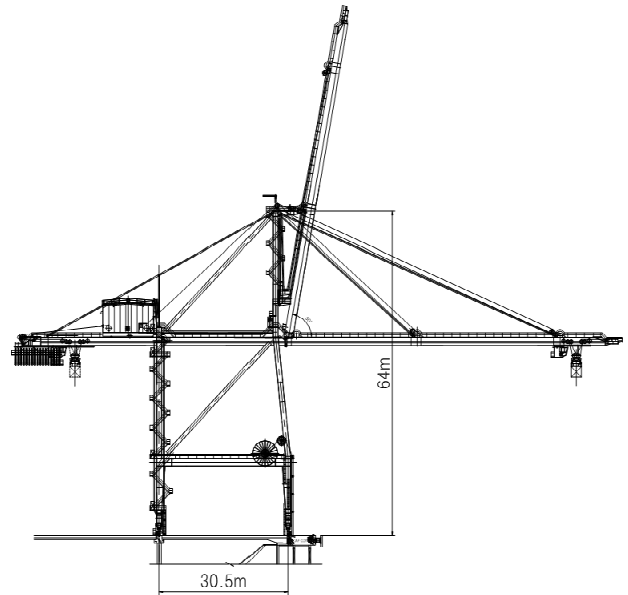


Fig. 1 Schematic of a 50ton-class container crane

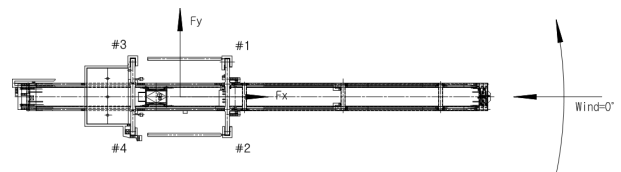


Fig. 2 Definition of incidence angle of wind

2.2 설계변수

컨테이너 크레인을 설계하기 위한 풍하중은 풍속에 달려있으며, 태풍 ‘매미’ 이후 설계기준 풍속은 50m/s 에서 75m/s 로 강화되었다. 따라서 본 연구에서 풍동실험 및 유동-구조연성해석에 적용한 풍속은 75m/s 를 적용한다. 또한 연구를 위해 풍향을 설계변수로 선정하고, Fig. 2 에 나타낸 바와 같이 해풍이 불 때를 0° 로 하여 반시계방향으로 180° 까지 10° 간격으로 총 19 가지 풍향조건에서 연구를 수행한다. 그리고 두 가지 연구방법에 따른 연구결과를 비교하기 위하여 Fig. 2 에 나타낸 바와 같이 컨테이너 크레인의 4 곳의 계류지점(#1, #2, #3, #4)에서의 부상력을 평가한다.

연구방법은 먼저 경계층풍동을 사용하여 풍향에 따른 컨테이너 크레인 모형에 대한 풍동실험을 수행하고, ANSYS 와 CFX 를 사용하여 실제 크레인의 유동구조연성해석을 수행한다. 다음으로 유동구조연성해석을 통해 산출된 부상력과 풍동실험을 통해 도출된 부상력을 비교하여 두 방법에 있어서 차이를 보정하기 위한 식을 제시한 후 경보시스템용 기준 데이터를 제시한다.

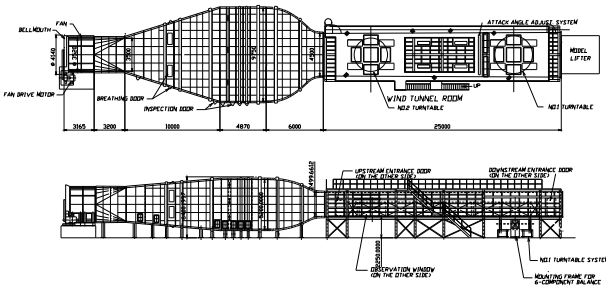


Fig. 3 Boundary layer wind tunnel



Fig. 4 Container crane model used for wind tunnel test

3. 풍동실험

3.1 실험장치 및 조건

컨테이너 크레인의 풍동실험을 위해 Fig. 3 에 나타난 바와 같이 현대건설기술연구소의 대형 대기경계층풍동을 사용하며, 전체 길이 53m, 측정부의 크기는 폭 4.5m, 높이 2.5m, 길이 25m 의 개방형(Eiffel type)이고, 풍속범위는 0.3~17.5m/s, 난류강도는 0.7% 이하이다.⁽⁷⁾

풍동실험 결과 수집을 위해 상사법칙을 적용하며, 적용내용을 살펴보면 모형 scale 을 1/200, 풍속 scale 을 1/13.3 (설계풍속 75m/s 일 때, 풍동풍속은 5.6m/s), 시간 scale 은 1/15 (실제시간이 600sec 일 때, 풍동시간은 40sec), scaling frequency 는 120Hz 이다. 각 조건에서 계측횟수는 10 회로 하여 총 데이터 수는 한 채널 당 48,000 개(120Hz×40sec×10 회)를 측정한다. Fig. 4 는 측정을 위해 제작한 축소 모형과 풍동내부를 나타낸다.

풍동내부 풍속분포는 ‘도로교설계기준⁽⁸⁾’ 에 제시된 고도 변화에 따른 평균풍속의 수직분포를 따르며, 난류강도는 ‘건축물하중기준⁽⁹⁾’ 에 제시된 고도 변화에 따른 난류강도를 따른다.

Table 1 Uplift force at each supporting point with respect to the wind direction in a wind tunnel test

Wind Direction	Uplift Forces (ton)			
	#1	#2	#3	#4
0	82.8	112.4	-559.2	-524.8
10	120.4	105.5	-552.3	-562.4
20	178.8	59.7	-506.5	-620.9
30	204.2	4.2	-451.0	-646.2
40	257.5	-109.5	-337.3	-699.5
50	272.3	-226.7	-220.0	-714.3
60	233.1	-310.3	-136.5	-675.1
70	214.2	-363.0	-83.8	-656.2
80	214.3	-364.3	-82.5	-656.3
90	100.7	-440.4	-6.4	-542.7
100	80.7	-507.3	60.5	-522.7
110	52.8	-570.3	123.5	-494.8
120	19.2	-626.3	179.5	-461.2
130	-68.3	-640.6	193.8	-373.7
140	-160.5	-614.8	168.0	-281.5
150	-254.5	-569.2	122.4	-187.5
160	-297.6	-495.6	48.8	-144.4
170	-399.9	-457.5	10.7	-42.2
180	-411.5	-414.3	-32.5	-30.5

3.2 실험결과

풍동실험에서 측정된 풍하중은 자중을 무시한 값이므로 각 지점에서의 자중을 고려한 후 부상력을 계산하여 Table 1 에 나타내었다.

Table 1 에서 양(+)의 값은 지점에서 크레인이 위로 뽑히려는 부상력을 나타내며, 음(-)의 값은 반대로 크레인이 지점의 지반을 압축하는 성향을 나타낸다. 풍하중의 작용방향에 위치한 #1 지점의 경우 풍하중이 120° 가 될 때까지 (+)방향 부상력이 발생하고, #2 지점의 경우 30° 이하의 풍향에서 부상력이 발생한다. 그리고 #3 지점은 100° ~ 170° 에서 부상력이 발생하였으며, #4 지점은 부상력이 발생하지 않는 것을 알 수 있다. 이는 중량의 기계실이 육측에 놓이기 때문이다.

4. 유동-구조연성해석

4.1 해석모델 및 해석방법

전산유동해석을 위한 유동장은 Fig. 5 와 같이 원통형상으로 구성하고 하중에 크게 영향을 주지 않는 미세한 구조물과 백 스테이는 생략한다. 또한, 컨테이너 크레인 외부 유동장의 크기를 직경 600m, 높이 200m 로 크게 함으로서 경계면 간섭으로 인해 발생할 수 있는 오차를 줄일 수 있다. 풍속은 풍동실험과 동일한 조건을 적용 하고, 고도에 따른 풍속은 ‘도로교설계기준’ 에 의거하여

Table 2 Uplift force at each supporting point with respect to the wind direction in FSI

Wind Direction	Uplift Forces (ton)			
	#1	#2	#3	#4
0	-2.1	1.8	-427.6	-425.1
10	42.8	-36.4	-385.0	-473.1
20	86.9	-79.9	-336.9	-521.1
30	120.7	-135.3	-276.8	-562.7
40	142.7	-192.5	-215.5	-592.9
50	149.2	-244.5	-161.2	-604.9
60	141.0	-284.6	-119.2	-599.6
70	121.5	-306.9	-93.5	-580.1
80	93.7	-319.2	-78.0	-552.2
90	67.5	-336.0	-59.7	-525.5
100	51.6	-367.2	-36.9	-508.7
110	35.3	-399.2	0.4	-489.5
120	10.7	-419.9	22.2	-459.2
130	-24.9	-428.0	29.4	-418.4
140	-70.1	-420.6	16.9	-371.3
150	-124.1	-399.1	-11.9	-317.2
160	-178.7	-367.2	-52.3	-261.1
170	-226.5	-323.3	-103.9	-211.0
180	-271.6	-272.8	-159.8	-162.3

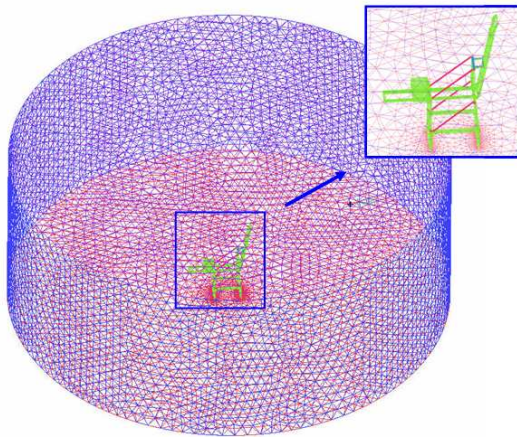


Fig. 5 Fluid field for FSI analysis

변화될 수 있도록 기류를 모델링한다. 풍향은 반시계방향으로 0°에서 180°까지 10° 간격으로 작용시키고, 공기 밀도는 1.225kg./m³로 한다. 유동 해석을 위한 격자는 ANSYS ICEM CFD 11, 전산유동해석은 ANSYS CFX 11을 사용한다.

4.2 유동-구조연성해석 결과

Table 2는 유동-구조연성해석을 통해 산출된 풍향에 따른 각 지점에서의 부상력을 나타낸다.

Table 3 Results of linear regression of wind tunnel test for FSI analysis on uplift force at each supporting point

Supporting Point	Slope	Intercept	Correlation
#1	1.73	8.02	0.976
#2	1.89	193	0.970
#3	1.79	122	0.951
#4	1.64	281	0.962

Table 4 Compensated uplift force at each supporting point with respect to the wind direction in FSI analysis

Wind Direction	Uplift Forces (ton)			
	#1	#2	#3	#4
0	4.4	196.4	-643.4	-416.2
10	82.1	124.2	-567.2	-494.9
20	158.4	42.0	-481.1	-573.6
30	216.8	-62.7	-373.5	-641.8
40	254.9	-170.8	-263.7	-691.4
50	266.1	-269.1	-166.5	-711.0
60	252.0	-344.9	-91.4	-702.3
70	218.2	-387.0	-45.4	-670.4
80	170.1	-410.3	-17.6	-624.6
90	124.8	-442.0	15.1	-580.8
100	97.3	-501.0	55.9	-553.3
110	69.1	-561.5	122.7	-521.8
120	26.5	-600.6	161.7	-472.1
130	-35.1	-615.9	174.6	-405.2
140	-113.3	-601.9	152.3	-327.9
150	-206.7	-561.3	100.7	-239.2
160	-301.1	-501.0	28.4	-147.2
170	-383.8	-418.0	-64.0	-65.0
180	-461.8	-322.6	-164.0	14.8

Table 2에서 풍하중의 작용방향에 위치한 #1 지점의 경우 풍하중이 10° ~ 120°의 범위에서 (+)방향 부상력이 발생하고, #3은 110° ~ 140°의 범위에서 (+)방향 부상력이 발생한다. 그러나 #2와 #4 지점은 압축력만 발생하는 것을 확인할 수 있다.

5. 결과 및 고찰

5.1 유동-구조연성해석의 보정

두 방식에서 산출된 풍향에 따른 50ton급 컨테이너 크레인의 각 지점에서 부상력을 비교하여 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6을 살펴보면, 모든 지점에서 풍동실험을 통한 부상력이 유동-구조연성해석을 통한 값보다 크게 나타났지만 경향은 유사함을 알 수 있다. 이러한 결과는 유동-구조연성해석의 특성을 나타낸다. 즉 모든 경우에 유동-구조연성해석의 값이 풍동실험보다 작게 나타난다. 따라서 유동-구조연성해석 값의 보정을 위한 보정식을 도출하기 위하여 해석을 통한

부상력을 x 값으로 두고 실험을 통한 부상력을 y 값으로 둔 후 1 차함수로 그 값을 피팅하여 기울기(slope), 절편(intercept) 및 상관계수(correlation)를 Table 3 에 나타내었다. 일반적으로 기울기가 1 에 가까울수록 그리고 절편이 0 에 가까울수록 두 값이 일치하게 된다. 상관계수가 0.65 이상이면 두 값이 관계가 있음을 나타내며, 그 값이 1 에 가까우면 매우 높은 상관관계가 있음을 의미하고, 반대로 0 에 가까우면 상관관계가 없음을 의미한다.

Table 3 에서 절편의 경우 #1 지점을 제외하고 모두 세 자리 숫자로 나타냈다. 이 것은 해석에 의한 부상력이 0 일 때 실험에 의한 부상력과 값의 차이가 크다는 것을 의미한다. 그러나 기울기의 경우 1.64~1.89 로 평균 1.76 을 보였다. 이것은 실험에 의한 부상력이 해석에 의한 부상력의 약 1.8 배를 나타낸다는 것을 의미한다. 그리고 모든 지점에서 상관계수는 0.95 이상으로 두 값이 매우 높은 상관관계를 보임을 알 수있다. 즉 해석과 실험의 결과를 신뢰할 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 Table 3 을 사용하여 유동-구조연성 해석을 통한 부상력을 나타낸 Table 2 를 다시 정리하면 보정된 부상력은 Table 4 와 같다.

5.2 경보시스템용 기준데이터

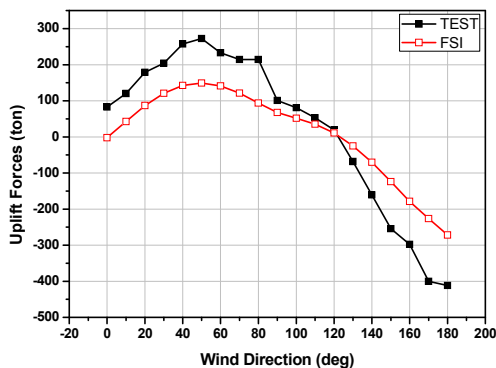
BS2573 설계규격⁽¹⁰⁾을 따를 때 컨테이너 크레인 에 작용하는 풍하중(F_i)은 아래와 같이 표현된다.

$$F_i = C_{ui} \times q_h \times A_{uni} \times L \quad (1)$$

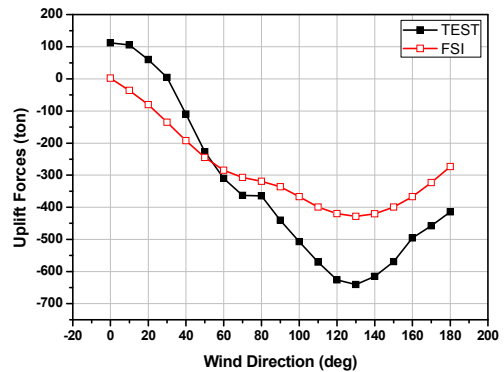
여기서 고도에 따른 풍압계수(q_h)는 풍속(V_0)의 제곱에 비례하고, 다른 값은 상수이므로 풍하중은 풍속의 제곱에 관한 식이 된다. 풍하중이 풍속의 제곱에 관한 식이므로 각 지지점에서의 부상력 또한 풍속의 제곱에 비례하게 된다. 따라서 아래 식 과 같이 각 지지점에서의 부상력(F_U)을 풍향에 따른 하중계수($C_{F\theta}$)로 묶어 정리하여 표현할 수 있다.

$$F_U = C_{F\theta} \times V_0^2 \quad (2)$$

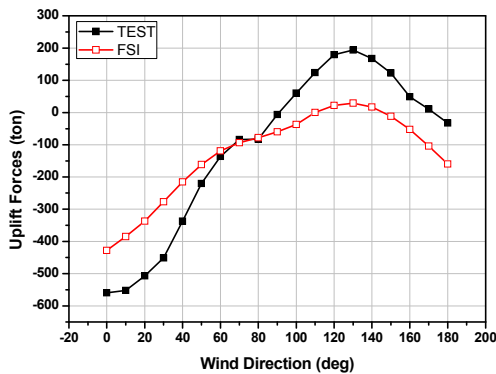
경보시스템에 필요한 기준 데이터는 풍향뿐만 아니라 풍속의 변화에 부합해야 한다. Table 4 는 75m/s 풍속일 때 각 지지점에서의 부상력이므로 모든 값을 75 의 제곱으로 나누면 식 (2)에서의 풍향에 따른 하중계수($C_{F\theta}$)를 구할 수 있다. 즉, 풍향 및 풍속에 따른 각 지지점의 부상력을 구할 수



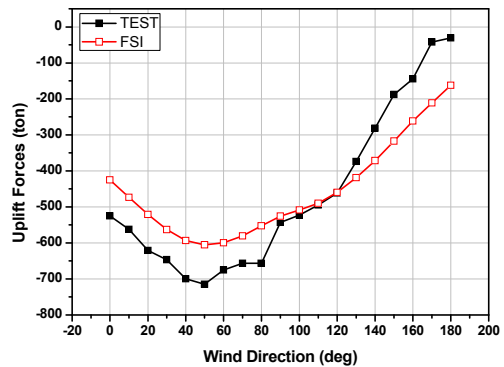
(a) Supporting point (#1)



(b) Supporting point (#2)



(c) Supporting point (#3)



(d) Supporting point (#4)

Fig. 6 Comparison of FSI analysis with wind tunnel test on uplift force at each supporting point

Table 5 Force coefficient at each supporting point with respect to the wind direction in FSI analysis

Wind Direction	Force Coefficient (ton-s ² /m ²)			
	#1	#2	#3	#4
0	0.0008	0.0349	-0.1144	-0.0740
10	0.0146	0.0221	-0.1008	-0.0880
20	0.0282	0.0075	-0.0855	-0.1020
30	0.0385	-0.0111	-0.0664	-0.1141
40	0.0453	-0.0304	-0.0469	-0.1229
50	0.0473	-0.0478	-0.0296	-0.1264
60	0.0448	-0.0613	-0.0162	-0.1249
70	0.0388	-0.0688	-0.0081	-0.1192
80	0.0302	-0.0729	-0.0031	-0.1110
90	0.0222	-0.0786	0.0027	-0.1033
100	0.0173	-0.0891	0.0099	-0.0984
110	0.0123	-0.0998	0.0218	-0.0928
120	0.0047	-0.1068	0.0288	-0.0839
130	-0.0062	-0.1095	0.0310	-0.0720
140	-0.0201	-0.1070	0.0271	-0.0583
150	-0.0367	-0.0998	0.0179	-0.0425
160	-0.0535	-0.0891	0.0050	-0.0262
170	-0.0682	-0.0743	-0.0114	-0.0116
180	-0.0821	-0.0573	-0.0292	0.0026

있는 기준데이터를 확보할 수 있게 된다. Table 5 는 50ton 급 컨테이너 크레인의 각 지점에서 풍향에 따른 하중계수를 나타낸다.

Table 5 와 식 (2)를 활용하면 컨테이너 크레인의 전도사고 예방을 위한 경보시스템 개발에 필요한 풍향 및 풍속에 따른 기준데이터를 확보할 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 크레인의 전도사고 예방을 위한 경보시스템용 기준데이터 확보를 위해 50ton 급 컨테이너 크레인에 대한 풍동실험과 유동-구조연성 해석을 수행하여 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 풍향에 따른 크레인 각 지점의 부상력에 대하여 유동-구조연성해석의 결과가 풍동실험 결과의 약 56%에 해당한다는 것을 알 수 있었으며, 이를 통해 유동-구조연성해석 결과를 보정할 수 있는 보정식을 도출하였다.

(2) 컨테이너 크레인에 작용하는 풍하중은 풍속의 제곱에 비례하므로 각 지점에서의 부상력 또한 풍속의 제곱에 관한 식으로 나타낼 수 있다. 유동-구조연성해석을 통해 도출한 부상력은 75m/s 의 풍속일 때 값이므로 풍향에 따른 하중계수를 사용하여 풍향 및 풍속에 따른 부상력을 나타낼 수 있다.

(3) 본 연구를 통해 제시된 유동-구조연성해석을 수행하여 컨테이너 크레인의 전도사고 예방을 위한 경보시스템용 기준데이터를 확보하는 과정을 응용하면 다양한 용량의 컨테이너 크레인용 경보시스템 개발이 가능하게 될 것으로 예상된다.

후 기

이 논문은 동아대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- (1) Tsinker, G. P., 2004, *Port Engineering : Planning, Construction, Matenance, and Security*, John Wiley & Sons, Inc., pp. 37~41.
- (2) Lee, J. M., Han, D. S., Han, G. J. and Jeon, Y. H., 2005, "A Study on the Wedge Angle of the Rail Clamp according to the Design Wind Sped Criteria Change," *IJNPR*, Vol. 29, No. 7, pp. 641~646.
- (3) Lee, S. W., Shim, J. J., Han, D. S., Han, G. J. and Kim, T. H., 2005, "The Comparison of the Stability of a Container Crane according to various Wind Load Design Codes," *J. of KINPR*, Vol. 29, No. 6, pp. 561~566.
- (4) Lee, S. W., Shim, J. J., Han, D. S., Han, G. J. and Lee, K. S., 2007, "An Experimental Analysis of the Effect of Wind Load on the Stability of a Container Crane," *JMST*, Vol. 21, No. 3, pp. 448~454.
- (5) Teixeira, F. P. and Awruch, M. A., 2005, "Numerical Simulation of Fluid-Structure Interaction using the Finite Element Method," *Computers & Fluids*, Vol. 34, pp. 249~273.
- (6) Han, D. S., Lee, S. W. and Han, G. J., 2008, "Comparison of Finite Element Analysis with Wind Tunnel Test on Stability of a Container Crane," *J. of KSPSE*, Vol. 12, No. 6, pp. 29~35.
- (7) Jang, H. S., Kim, Y. S., Hwang, K. S., 1997, "Introduction of Wind Tunnel Laboratory in Hyundai Institute of Construction Technology," *J. of WEIK*, Vol. 1, No. 1, pp. 58~65.
- (8) Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs of Korean Government, 2000, *Design Criteria of a Road Bridge*.
- (9) Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs of Korean Government, 2000, *Load Criteria of Building Structures*.
- (10) BS 2573, 1983, *Rules for the Design of Cranes*, British Standards UK.